

## Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine

### Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine, wobei die Ankerwicklungen der Synchronmaschine gegebenenfalls unter Zwischenschaltung wenigstens eines Bremswiderstandes kurzgeschlossen werden.

### Stand der Technik

Weiters wird eine Synchronmaschine zur Durchführung des Verfahrens mit einem beispielsweise permanentenregten Rotor und mit einer kurzschließbaren Ankerwicklung vorgeschlagen, die an einen Stromrichter angeschlossen ist, der je eine über Leistungsschalter schaltbare Halbbrücke für positive und negative Halbwellen des Stromes aufweist.

Bei Überbelastungen, Netzspannungsausfall, Zwischenkreisüberspannung, Verlust der Positions- bzw. Geschwindigkeitsinformation kann es für Synchronmaschinen notwendig sein, einen sofortigen Notstop einzuleiten. Dieser Notstop kann entweder durch Energietrennung der Ankerwicklungen vom Netz oder durch eine aktive Bremsung erfolgen. Eine besonders einfache Möglichkeit einer aktiven Bremsung für Synchronmotoren ist die Kurzschlußbremsung, bei der die Klemmen der Ankerwicklungen über einen Leistungsschalter, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung von Bremswiderständen, kurzgeschlossen werden. Der erzielbare Bremsmomentverlauf über der Drehzahl entspricht in diesem Fall ungefähr dem des Drehmomentenverlaufes einer Asynchronma-

schine. Soll eine Bremsung einer Synchronmaschine eingeleitet werden, muß zuvor der Wechselrichter deaktiviert werden, um einen Zwischenkreiskurzschluß zu vermeiden, wonach der Leistungsschalter die Ankerwicklungen, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung von Bremswiderständen, kurzschließt. Werden im Kurzschlußkreis keine zusätzlichen Bremswiderstände vorgesehen, variiert das Bremsmoment während des Abbremsvorganges besonders stark über der Drehzahl. So steigt das zu Beginn der Bremsung verhältnismäßig geringe Bremsmoment erst verhältnismäßig spät zu seinem Maximalwert an, um gleich danach steil gegen Null abzufallen. Der Nachteil liegt somit in dem verhältnismäßig kleinen Anfangsbremsmoment und im nicht über den gesamten Drehzahlbereich konstanten Bremsmoment. Soll der Anfangswert des Bremsmomentes angehoben werden, ist im Kurzschlußkreis ein zusätzlicher Bremswiderstand vorzusehen, wodurch das Bremsmoment ähnlich der Momentenkennlinie des Asynchronmotors verschoben und die Gleichförmigkeit des Bremsmomentes verbessert werden kann. Ein wesentlicher Nachteil bei der Verwendung von Bremswiderständen liegt darin, daß zusätzliche Komponenten vorgesehen werden müssen, die zudem einer starken thermischen Belastung unterliegen, was es in Abhängigkeit der Dimensionierung der Bremswiderstände nicht immer ermöglicht, sofort nach einer durchgeführten Kurzschlußbremsung eine erneute Kurzschlußbremsung einzuleiten. Zwischen zwei Kurzschlußbremsungen muß somit eine vorbestimmte Zeit abgewartet werden, bis sich die Bremswiderstände wieder abgekühlt haben. Ein weiterer wesentlicher Nachteil der Kurzschlußbremsung liegt darin, daß der Kurzschlußstrom hohe Spitzenwerte erreichen kann, was gegebenenfalls eine dauerhafte Schädigung des Motors, insbesondere eine Entmagnetisierung von Permanentmagneten einer permanentenregten Synchronmaschine, zur Folge hat, wenn ein maximal zulässiger Strom überschritten wird.

#### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine der eingangs geschilderten Art anzugeben, mit dem der Kurzschlußstrom sicher begrenzt und das zu erzielende Bremsmoment

möglichst über das gesamte Drehzahlband auf einem nahezu konstanten Wert geregelt werden können soll. Weiters soll eine Synchronmaschine zur Durchführung des Verfahrens geschaffen werden, die über eine möglichst einfache Bremseinrichtung verfügt.

Die Erfindung löst diese Aufgabe dadurch, daß der Kurzschlußstrom durch eine Pulsweitenmodulation in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes geregelt wird.

Erfindungsgemäß wird der Kurzschlußstrom in den Ankerwicklungen pulsweitenmoduliert geregelt, was beispielsweise dadurch erreicht wird, daß Leistungsschalter die Ankerwicklungen in Abhängigkeit der jeweils von der Regelung vorgegebenen Kurzschlußdauer kurzschließen. Mit Hilfe der Pulsweitenmodulation kann der Kurzschlußstrom derart vorgegeben werden, daß sich das gewünschte Bremsmoment auf besonders einfache Weise einstellt. Damit ist es nicht nur möglich das Bremsmoment über den gesamten Drehzahlbereich nahezu konstant zu halten, sondern ergibt sich auch die Möglichkeit auf besonders einfache Weise mit jedem kleineren, als dem maximalen Drehmoment abzubremesen, da es bei manchen Anwendungen durch eine zu starke Abbremsungen zu Schäden in der über die Motorwelle der Synchronmaschine angekoppelten Mechanik kommen kann. Ein übermäßig starkes Ansteigen des Kurzschlußstromes kann mit der erfindungsgemäßen Regelung ebenfalls elegant behoben werden, wodurch ein Überschreiten des zulässigen Kurzschlußstromes und somit beispielsweise ein entmagnetisieren von Permanentmagneten sicher verhindert werden kann. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Regelung liegt darin, daß nach einer erfolgten Kurzschlußbremsung unmittelbar wieder eine Kurzschlußbremsung eingeleitet werden kann und keine Auskühlzeit abgewartet werden muß, wie dies bei einer Widerstandsbremse gemäß dem Stand der Technik der Fall ist.

Eine erfindungsgemäße Synchronmaschine zur Durchführung des Verfahrens mit einem Rotor und mit einer kurzschließbaren Ankerwicklung, die an einen

Stromrichter angeschlossen ist, der je eine über Leistungsschalter schaltbare Halbbrücke für positive und negative Halbwellen des Stromes aufweist, zeichnet sich gemäß der Erfindung dadurch aus, daß die die Ankerwicklungen kurzschließenden Leistungsschalter zumindest einer Halbbrücke des Stromrichters über eine Regeleinrichtung in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar sind. Bei einer derartigen erfindungsgemäßen Synchronmaschine wird der Kurzschluß in den Ankerwicklungen über den Wechselrichter erzeugt, so daß keine zusätzlichen Leistungshalbleiterbauteile notwendig sind. Zum Abbremsen der Synchronmaschine werden die Schaltzeiten für die Leistungsschalter nicht mehr von einer den Betrieb der Synchronmaschine steuernden Vektorregelung, sondern von einem Momentenregler bestimmt, der die Ankerwicklungen in Abhängigkeit des zu erzielenden Kurzschlußstromes ansteuert.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die die Ankerwicklungen kurzschließenden Leistungsschalter zweier Halbbrücken des Stromrichters abwechselnd über eine Regeleinrichtung in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar sind. Dadurch können sowohl die Halbbrücke für positive Halbwellen als auch die Halbbrücke für negative Halbwellen des Stromrichters als Kurzschlußelemente verwendet werden wodurch eine bessere thermische Auslastung der Leistungsschalter gewährleistet ist. Die Bremsleistung wird gemäß dieser Ausgestaltungsform der Erfindung somit in besonders einfacher Weise über den im allgemeinen thermischen hochbelastbaren Stromrichter, die Ankerwicklung und einen gegebenenfalls vorgesehenen Bremswiderstand abgeführt, wodurch der Bauaufwand minimiert wird und nur geringe zusätzliche Maßnahmen für den Bremsbetrieb einer erfindungsgemäßen Synchronmaschine vorgesehen werden müssen.

Alternativ zur vorgenannten Ausgestaltungsform einer Synchronmaschine kann sich eine Synchronmaschine mit einem Rotor und mit einer gegebenenfalls über einen Bremswiderstand kurzschließbaren Ankerwicklung gemäß einer

weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform der Erfindung dadurch auszeichnen, daß die Ankerwicklungen an eine über einen Leistungsschalter kurzschließbare Gleichrichterschaltung angeschlossen sind und daß der Leistungsschalter über eine Regeleinrichtung in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar ist. Gemäß dieser Ausgestaltungsform einer erfindungsgemäßen Synchronmaschine wird der Kurzschluß für die Ankerwicklungen über eine gesonderte Leistungshalbleiterschaltung erzeugt. Der Kurzschlußstrom der Ankerwicklungen wird in der Gleichrichterschaltung gleichgerichtet und die Ausgänge für positive und negative Halbwellen des Gleichrichters anschließend über einen Leistungsschalter und gegebenenfalls einen Bremswiderstand kurzgeschlossen. Ein wesentlicher Vorteil dieser erfindungsgemäßen Synchronmaschine liegt darin, daß die Funktion der Bremseinrichtung auf besonders einfache Art und Weise ständig bzw. in gewissen Abständen geprüft werden kann, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn an die ständige Verfügbarkeit der Bremseinrichtung besonders hohe Anforderungen gestellt werden. So kann eine eigens vorgesehene Steuerung jederzeit, also auch während des Betriebes der Synchronmaschine kurzfristig für einen Kurzschluß im Gleichrichterschaltkreis sorgen und eine eigens vorgesehene Überwachungseinrichtung die ordnungsgemäße Funktion der Bremseinrichtung, beispielsweise über eine Strommessung im Kurzschlußkreis, gewährleisten. Dieser Funktionstest kann, wie erwähnt, auch im Betrieb des Wechselrichters erfolgen, wodurch alle Komponenten und Funktionen der Bremseinrichtung laufend überprüft werden können. Durch die Zweikanaligkeit zwischen Bremseinrichtung und Stromrichter sowie die ständige Prüfbarkeit der Bremseinrichtung kann eine besonders hohe Sicherheitsklasse erreicht werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels schematisch dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 und 2 je eine Ausgestaltungsvariante einer erfindungsgemäßen Synchronmaschine,  
Fig. 3 und 4 zwei Regelkonzepte für die Kurzschlußbremsung,  
Fig. 5 und 7 Diagramme bezgl. des Drehmomenten bzw. Drehzahlverlaufes einer Kurzschlußbremsung gemäß des Standes der Technik und  
Fig. 6 und 8 Diagramme bezgl. Drehmomenten und Drehzahlverlaufes einer erfindungsgemäßen Kurzschlußbremsung.

#### Weg zur Ausführung der Erfindung

Eine permanenterregte Synchronmaschine 1 umfaßt Ankerwicklungen u, v, w, die über eine Bremseinrichtung 2 zwei kurzschließbar sind. Für den normalen Betrieb der Synchronmaschine 1 ist ein Stromrichter 3 vorgesehen der über eine Ansteuereinheit 4 in üblicher Weise angesteuert wird.

Die Ansteuereinheit 4 umfaßt unter anderem einen Drehwinkel und Drehgeschwindigkeitsgeber 5, einen Positionsregler 6, einen Geschwindigkeitsregler 7, einen Stromregler 8 sowie Wandler für mathematische Transformationen 9, eine Raumzeigermodulation 10 und einen zwei aus drei Wandler 20.

Gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 gehört der Bremseinrichtung 2 ein Drehmomentregler 11 zu, der die Leistungsschaltelemente 12 und 13 in Fall einer Bremsung vorzugsweise abwechselnd kurzschließt. Zuvor muß allerdings eine Ansteuerung der Leistungsschalter 12 und 13 durch die Ansteuereinheit 4 unterbunden werden, wozu die Schalter 14 in diesem Fall geöffnet werden. Zum Abbremsen der Synchronmaschine 1 werden die die Ankerwicklungen u, v, w kurzschließenden Leistungsschalter 12, 13 zumindest einer Halbbrücke 15, 16 des Stromrichters 3 abwechselnd über den Regler 11 in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes angesteuert.

Gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 gehört der Bremseinrichtung eine Gleichrichterschaltung 26 zu, die an die Ankerwicklungen u, v, w angeschlossen ist. Zum Abbremsen der Synchronmaschine 1 ist die an die Ankerwicklungen u, v, w angeschlossene Gleichrichterschaltung 26 über einen Leistungsschalter 17 und einen Bremswiderstand 18 kurzschließbar, wobei der Leistungsschalter 17 über den Regler 11 in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar ist. Um die ordnungsgemäße Funktion der Bremseinrichtung 2 jederzeit überprüfen zu können, ist ein Steuergerät 19 vorgesehen, mit dem die Funktion der Bremseinrichtung auch während des Betriebes des Wechselrichters überprüft werden kann, indem dieser den Leistungsschalter 17 über den Regler 11 für einen vorbestimmten Zeitraum kurzschließt und dabei den im Kurzschlußkreis fließenden Kurzschlußstrom mißt.

Den Fig. 3 und 4 sind Regelkonzepte für die Kurzschlußbremsung zu entnehmen, wobei der Kurzschlußstrom  $i_k$  der Ankerwicklungen u, v, w und das Sollbremsmoment  $M_{br, \text{ soll}}$  stets als Eingangsgröße für die Regelung dient und die Regeleinrichtung am Ausgang Schaltzeiten  $T_{k, \text{ on}}$  (Schalter ein) und  $T_{k, \text{ off}}$  (Schalter aus) für die Leistungsschalter 12, 13, 17 liefert.

Fig. 5 und 6 zeigen einen Bremsmomentenverlauf über der Drehzahl bei einer Kurzschlußbremsung mit Bremswiderstand gemäß dem Stand der Technik (Fig. 5) und mit einer erfindungsgemäßen Bremsvorrichtung (Fig. 6). Die Fig. 7 und 8 zeigen die den Fig. 5 und 6 zugehörigen Drehzahlverläufe über der Zeit.

### P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine, wobei die Ankerwicklungen der Synchronmaschine gegebenenfalls unter Zwischenschaltung wenigstens eines Bremswiderstandes kurzgeschlossen werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Kurzschlußstrom durch eine Pulsweitenmodulation in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert und dem Istwert des Kurzschlußstromes geregelt wird.
2. Synchronmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem Rotor und mit einer kurzschließbaren Ankerwicklung, die an einen Stromrichter angeschlossen ist, der je eine über Leistungsschalter schaltbare Halbbrücke für positive und negative Halbwellen des Stromes aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die die Ankerwicklungen (u, v, w) kurzschließenden Leistungsschalter (12, 13) zumindest einer Halbbrücke (15, 16) des Stromrichters (3) über eine Regeleinrichtung (11) in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar sind.
3. Synchronmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die die Ankerwicklungen (u, v, w) kurzschließenden Leistungsschalter (12, 13) zweier Halbbrücken (15, 16) des Stromrichters (3) abwechselnd über eine Regeleinrichtung (11) in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar sind.



4. Synchronmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem Rotor und mit einer gegebenenfalls über einen Bremswiderstand kurzschließbaren Ankerwicklung, dadurch gekennzeichnet, daß die Ankerwicklungen (u, v, w) an eine über einen Leistungsschalter (17) kurzschließbare Gleichrichterschaltung (26) angeschlossen sind und daß der Leistungsschalter (17) über eine Regeleinrichtung (11) in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert und dem Istwert des Kurzschlußstromes ansteuerbar ist.

## Z u s a m m e n f a s s u n g :

### Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine

Es wird ein Verfahren zum Bremsen einer Synchronmaschine 1 vorgeschlagen, wobei die Ankerwicklungen (u, v, w) der Synchronmaschine 1 gegebenenfalls unter Zwischenschaltung wenigstens eines Bremswiderstandes (18) kurzgeschlossen werden. Um das Bremsmoment über nahezu gesamten Drehzahlbereich konstant halten zu können, wird vorgeschlagen, daß der Kurzschlußstrom durch eine Pulsweitenmodulation in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem Sollwert des Bremsmomentes entsprechenden Sollwert des Kurzschlußstromes und dem Istwert des Kurzschlußstromes geregelt wird.

(Fig. 1)

1/4

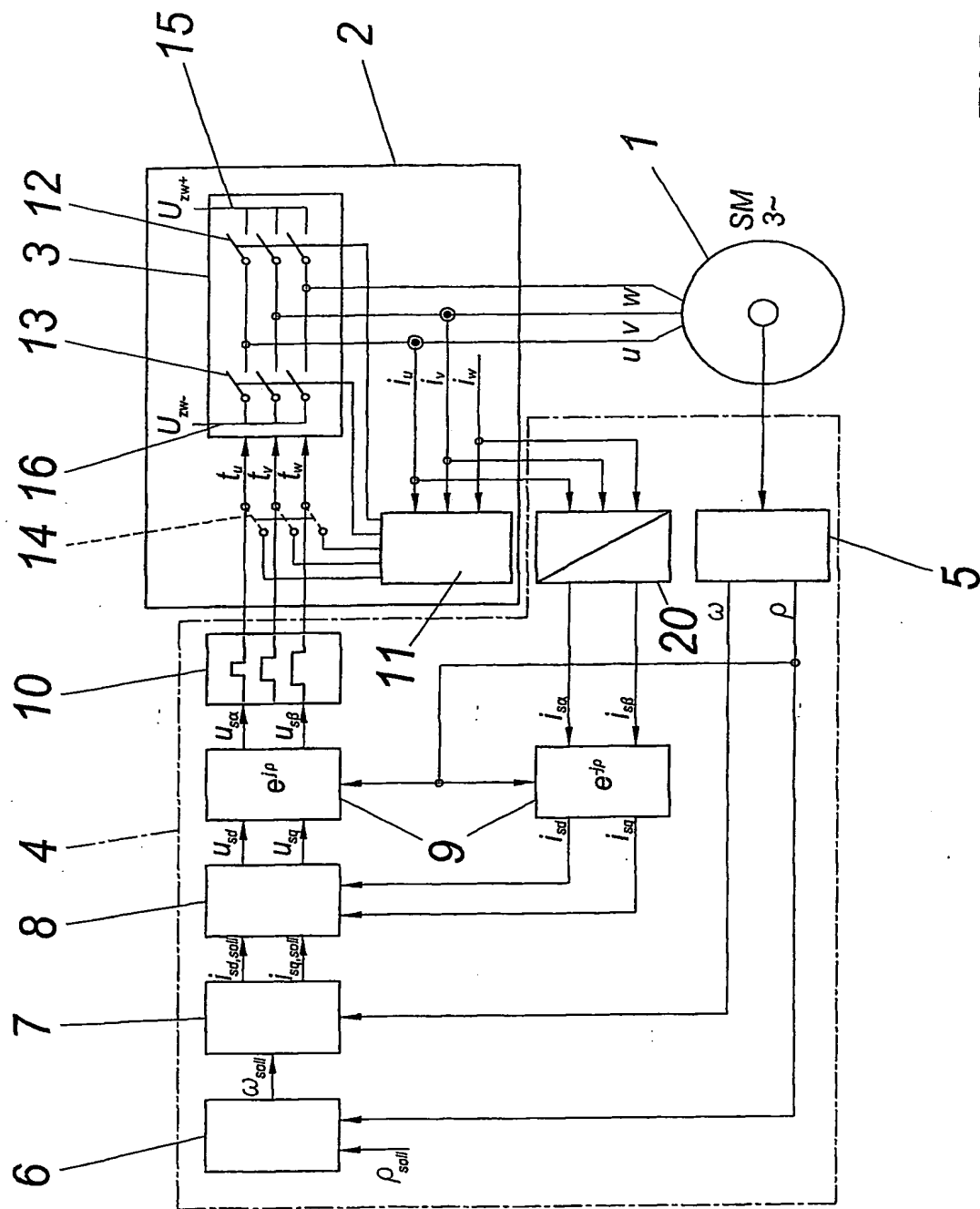


FIG. 1

2/4

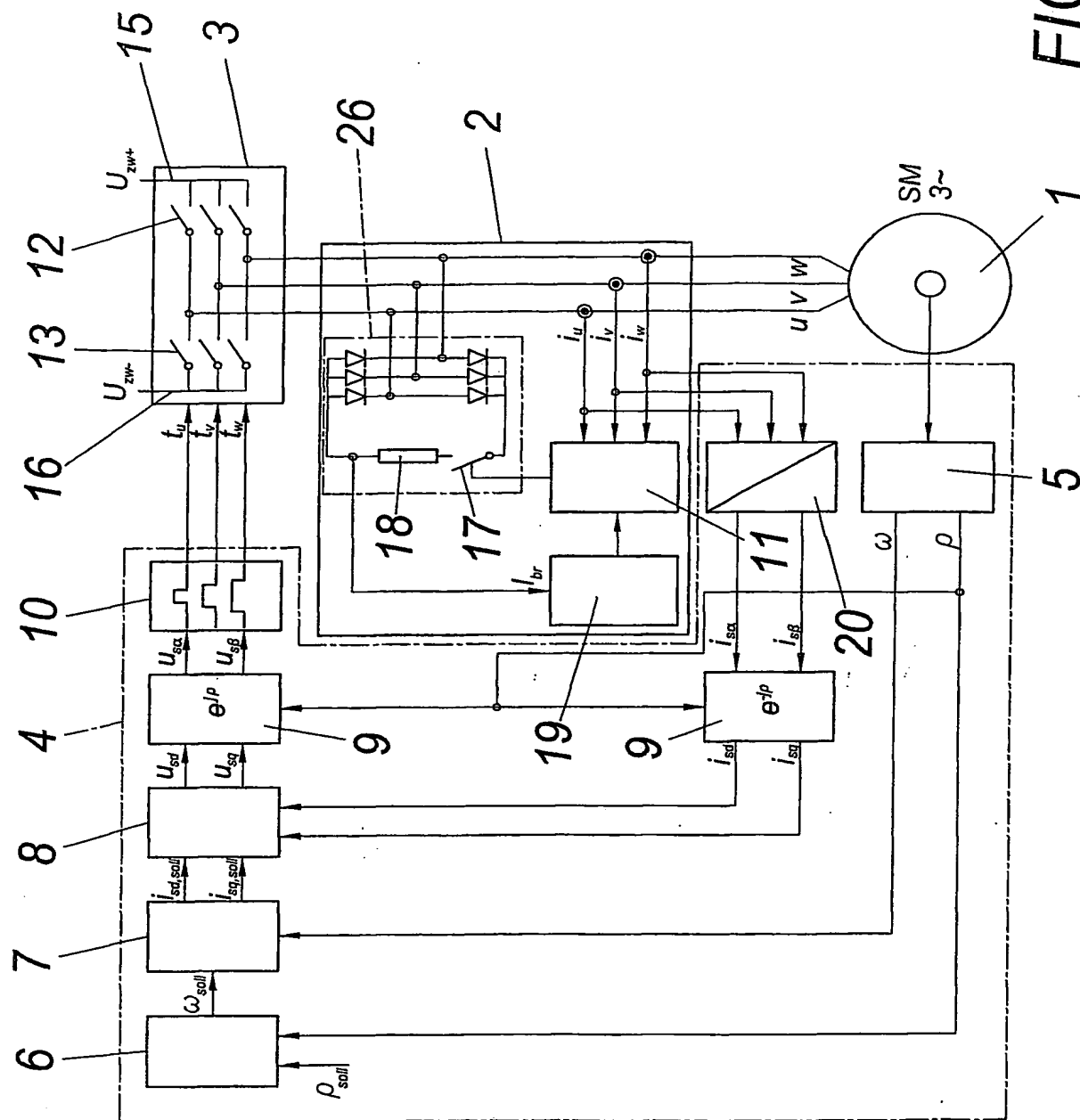


FIG. 2

3/4

FIG.3

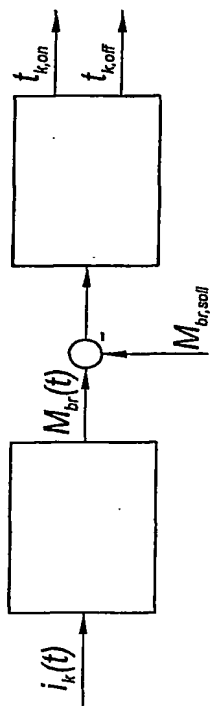
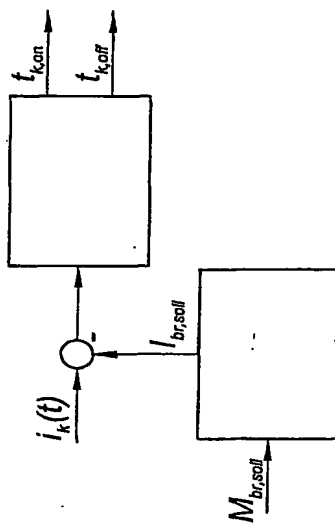


FIG.4



4/4

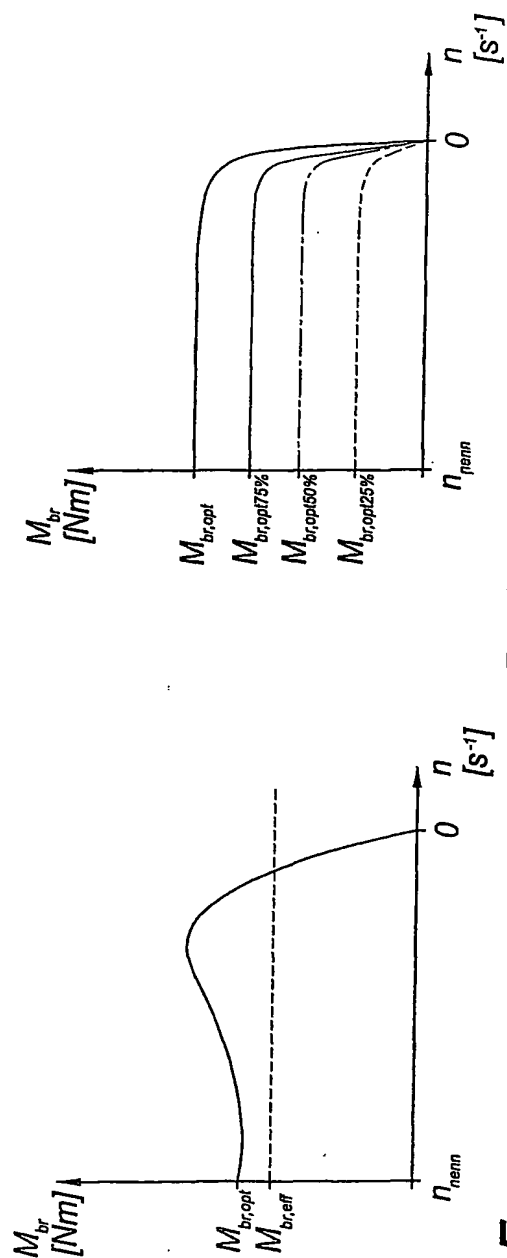


FIG. 6

FIG. 5

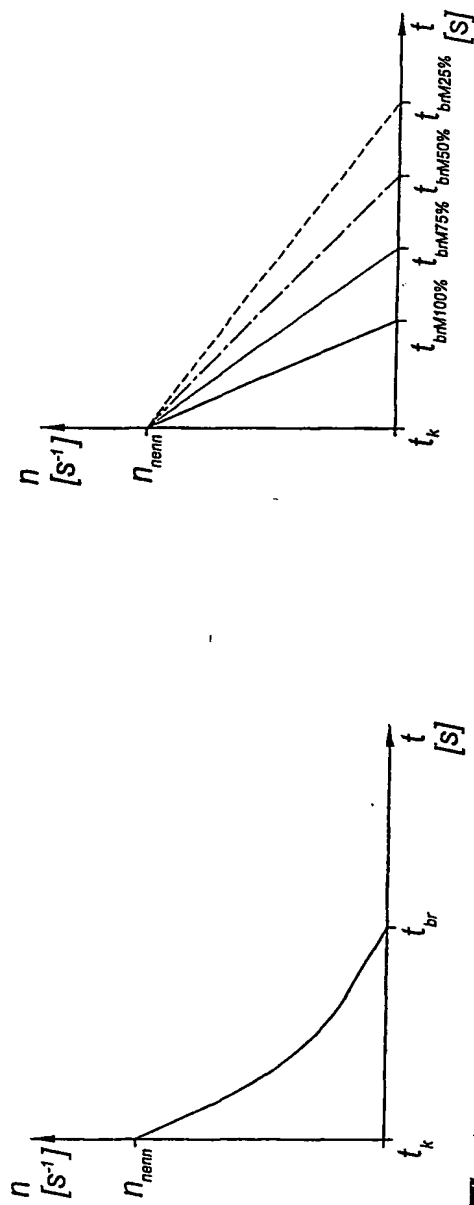


FIG. 8

FIG. 7